

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性

李明辉^{1,*}, 何风华², 潘存德³

(1. 华南师范大学旅游管理系, 广州 510631; 2. 华南师范大学生命科学院, 广州 510631; 3. 新疆农业大学林学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:天山云杉(*Picea Schrenkiana*)林是天山林区的重要针叶林。研究调查了分别代表天山云杉增长型种群和成熟型种群的两块标准地,应用 Ripley's *K* 系数法研究了天山云杉更新层、低林层、中林层和高林层的空间格局和不同林层的空间关联性,并应用 Moran's *I* 系数法研究了不同林层的林木高度的空间自相关性。结果表明:所有林层的天山云杉活立木都是显著聚集的,只是发生聚集格局的强度和聚集尺度不同。更新层天山云杉具有最大的聚集强度,从更新层到低林层,聚集强度急速降低。两块标准地中天山桦(*Betula tianschanica* Rupr.)、天山柳(*Salix tianschanica* Rgl.)和天山云杉活立木的空间关联性的表现不同。研究表明:增长型种群中天山桦、天山柳在所有尺度上都抑制天山云杉的生长;而成熟型种群中天山桦、天山柳在 1—10 m 尺度内对天山云杉种群的生长没有影响,10—40 m 表现出正相关,40 m 以上没有表现出明显的关联性;同时天山桦、天山柳基本上在所有尺度都抑制天山云杉的更新。在更新层和低林层间表现出正相关;而更新层和枯死木之间的空间关联性为正相关。

关键词:天山云杉;空间点格局;Ripley's *K* 系数法;空间关联性;空间自相关

Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China

LI Minghui^{1,*}, HE Fenghua², PAN Cunde³

1 Department of Tourism Management, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

2 College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

3 Department of Forestry, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

Abstract: Forests often show clear vertical structure, which has significant influences on a series of structural and functional properties of forest ecosystems, such as seed dispersal ability, canopy radiation condition, photosynthetic capacity, and seedling growth. However, how forest vertical structure changes with horizontal scale has been less studied. The schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) forest is the most wide-spreaded forest type in Xinjiang Province, northwest China. It has profound significance in soil and water conservation, timber harvesting, and climate regulation to the region. Analyzing the horizontal spatial patterns of different tree height classes can provide important insights into understanding the responsible processes that have generated the pattern. We conducted an across-scale analysis of forest structure to characterize the spatial characteristics of two contrasting Schrenk Spruce experimental forests in the campus of Xinjiang Agriculture University. All trees were mapped within a 2.4hm² rectangular plot for the establishing and the mature experimental forests. Species within each plot were identified, and the number of species, tree height, tree age, and DBH (diameter at breast height) were recorded for each individual tree. Based on these measurements, we categorized all the tree individuals into four height classes: the upper, intermediate, lower and sapling classes. The spatial distribution patterns and spatial associations of trees among different height classes were first analyzed using a point pattern analysis method, the Ripley's *K* statistic. Then, the Moran spatial correlograms were constructed to quantify the spatial pattern of tree height. Our results showed that: i) Schrenk Spruce tree individuals in different height classes distributed in an aggregative fashion. All tree-classes were clumped but at different distances. Bigger trees showed clumped distributions at

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30560124,30360087)

收稿日期:2009-12-22; **修订日期:**2010-08-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liminghuilmh@eyou.com

greater distances. The sapling height class was the most clumped strata and had a positive association with other tree species; ii) Intra- and inter-species spatial associations of Schenk Spruce varied with the height of other tree species and the scale of analysis. *Betula tianschanica* Rupr. and *Salix tianschanica* Rgl. inhibited the regeneration of Schrenk spruce at all scales in the establishing population plot, whereas positive associations occurred between the scales of 10 to 40 m in the mature population plot; The intermediate height class and upper height class were spatially independent of *Betula tianschanica* Rupr. and *Salix tianschanica* Rgl; iii) Different spatial interactions existed between different height classes and also varied with the scale. Dead Schrenk spruce trees were spatially dependent of other trees at larger scales but independent at smaller scales. Negative repulsion interactions were found between saplings and lower living trees, whereas positive attraction interactions existed between saplings and dead trees. . Saplings were negatively associated with adult trees at almost all scales, iv) The correlogram analysis revealed the spatial gradients for different height classes. The distances of high positive autocorrelation values were 50 meters in both plots. Three distinct peaks of significant positive spatial autocorrelation were found for the sapling height class in the mature population plot, but no particular spatial autocorrelation in the establishing population plot. Negative spatial autocorrelation occurred above the 60m scale for both the intermediate height class and the upper height class, reflecting trees at upper strata tend to occur in larger patches.

Key Words: *Picea schrenkiana*; spatial pattern analysis; Ripley's K statistic; point pattern spatial association; spatial autocorrelation

在森林群落中,林分不同林层的空间分布格局及各林层间的空间关联性对林分的功能起着很重要的作用^[1-6]。不同林层的空间分布格局影响林木种子的扩散距离^[7-8]和林木的更新^[3]。林分的垂直空间格局及不同林层间的空间关联性对物种生长、繁殖、死亡、资源利用以及林窗的形成等具有显著影响^[9-15]。分析林分的垂直格局和不同林层之间的空间关联性是非常重要的。

天山云杉(*Picea schrenkiana* var. *tianschanica*)是新疆山地森林中分布最广的树种,在中国仅见于新疆。以天山云杉为主体的天山山地森林生态系统对天山的水源涵养、水土保持和林区生态系统的形成和维护起着重要作用^[16]。对天山云杉天然林的空间格局已经有了一些研究,但受研究方法和研究尺度的限制,其研究仍不够充分^[17]。本文应用空间点格局方法,在相对比较的尺度上分析了天山云杉不同林层之间的空间格局,对天山云杉林的先锋树种同天山云杉的空间关联性和天山云杉不同林层的空间关联性进行分析,以期了解垂直格局对于森林更新和演替的影响,并为进一步解决天山云杉的更新问题和天山森林生态系统的保育、恢复与可持续经营提供理论依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况及调查取样方法

本研究基础数据的调查在新疆农业大学实习林场进行。新疆农业大学实习林场位于天山北麓中部,头屯河上游。地处北纬43°16'—43°26',东经86°46'—87°00',林区年均降水量约600 mm,5—8月份生长季集中降水量约占60%,7月份相对湿度约65%;年平均温度3℃,7月份平均温度约14℃,年日照大于1300 h,无霜期140 d,地势南高北低,坡度多在10—40°,森林主要分布在北、东北和西北坡,以草类和藓类天山云杉纯林为主,林下土壤为普通灰褐色森林土,林下代表性植物种有:高山羊角芹(*Agegopodium alpestre*)、天山羽衣草(*Alchemilla tianschanica*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、葶苈(*Drabane morosa*)、白花三叶草(*Trifolium repens*)、准噶尔繁缕(*Stellaria soongorica*)、林地早熟禾(*Poa nemoralis*)、兰花菊(*Cicerbita azurea*)等^[16]。

本研究设置了两块矩形标准地:标准地Ⅰ(面积:120 m×200 m;坡向:东北;坡度:20°;坡位:中)和标准地Ⅱ(面积:120 m×200 m;坡向:北偏东;坡度:15°;坡位:中)。标准地调查采用相邻网格法,网格大小为10 m×10 m。调查时对标准地内全部树木分别网格进行全林定位,每株树分别记录树种名称,量测其胸径、树高和冠幅。本文中天山云杉林层的分级标准是:更新层(S):树高小于2 m;低林层(L):树高大于2 m 小于

15 m; 中林层(M): 树高大于 15 m 小于 20 m; 高林层(U): 树高大于 20 m。研究地段中天山云杉占绝对优势, 其中还伴有天山桦、天山柳等先锋树种。本文用 A 表示天山云杉活立木。

1.2 资料的分析方法

本研究所涉及的格局分析全部采用空间点格局法^[18-19]。Ripley's K 函数的定义为:

$$\hat{K}(r) = A \sum_{i \neq j}^n \sum_j^n w_{ij} I_r(i, j) / n^2 \quad i, j = 1, 2, \dots, i \neq j, d_{ij} \leq r \quad (1)$$

式中, n 为样方内植物个体数, r 为距离尺度, d_{ij} 是植物个体 i 和 j 之间的距离, A 为样地面积, w_{ij} 是以 i 为圆心, d_{ij} 为半径的圆周长落在样地内的长度与该周长的比例的倒数, n 为样地中个体总数, $I_r(i, j)$ 当 $d_{ij} \leq r$ 时其取值为 1, 当 $d_{ij} > r$ 时取值为 0。

$\hat{L}(r) = \sqrt{\hat{K}(r)/\pi} - r$, 因为有明确的零假设($\hat{L}(r) = 0$ 时是随机分布, 当 $\hat{L}(r) > 0$ 时为聚集分布, $\hat{L}(r) < 0$ 时为均匀分布。)而更加常用。

Ripley's K 函数可以推广到类间格局分析, 如不同树种之间、不同林层之间的空间关联性分析。类 1 和类 2 之间的 K_{12} 估计值的计算公式为:

$$\hat{K}_{12} = \frac{A}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} W_{ij} I_r(i \neq j) \quad i, j = 1, 2, \dots, i \neq j, d_{ij} \leq r \quad (2)$$

式中, n_1 和 n_2 分别为类 1 和类 2 的个体数, 其他符号同公式(1)。

$\hat{L}_{12}(r) = \sqrt{\hat{K}_{12}(r)/\pi} - r$, $\hat{L}_{12}(r) < 0$ 时表明两类之间是相互独立的; 如果 $\hat{L}_{12}(r) > 0$ 表明两类之间为空间正关联(相互促进); 当 $\hat{L}_{12}(r) < 0$ 表明两者为空间负关联(相互抑制)。

对于所有的空间分布模型, $\hat{L}(r)$ 和 $\hat{L}_{12}(r)$ 的理论值是未知的, 须对模型进行重复模拟来估计。实际观测分布的 $\hat{L}(r)$ 和 $\hat{L}_{12}(r)$ 偏离 0 的 95% 的上下包迹线即置信区间采用 Monte Carlo 方法求得^[20-21]。

若实际分布的 $\hat{L}(r)$ 和 $\hat{L}_{12}(r)$ 值落在包迹线内, 则符合随机分布或类间相互独立; 若在包迹线以上, 则为聚集分布或两类间为空间正关联; 若落在包迹线以下, 则呈均匀分布或两类间为空间负关联。当种群表现为聚集分布时, 把偏离随机置信区间最大值作为聚集强度, 而聚集尺度为对应聚集强度的尺度, 一般特定指以样木为圆心, 聚集尺度为半径的圆^[22], 此圆面积大小代表了最大聚集规模^[23-24]。

空间自相关是区域化变量的基本属性之一, 而空间自相关统计量可以用于检测研究区域内变量的分布是否具有结构性。空间自相关特征与样点距离密切相关。

本研究还采用 Moran's I 系数为指标, Moran's I 系数的计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

式中, x_i 和 x_j 是位置 i 和位置 j 的样木的高度值, 即 $\bar{x}$ 是树高的平均值, w_{ij} 是权重值; 且 $i \neq j$ 。

Moran's I 系数可定量描述研究变量在空间上的依赖关系。 I 的取值在 -1 和 1 之间。 $I > 0$ 表示研究变量在空间上呈现正相关, 即随着距离缩小, 变量的测定值变的很相似; $I < 0$ 表示研究变量在空间上呈现负相关; $I = 0$ 表示研究变量在空间依赖性小或空间随机变异较大^[25-26]。

空间自相关系数也随观察尺度的改变而变化。本文在一系列尺度上计算自相关系数, 从而揭示所研究变量的自相关程度随空间尺度的变化。以自相关系数为纵坐标, 样点间隔距离为横坐标所做的图为自相关图。自相关图可以用来分析空间结构特征, 判别缀块的大小以及某种格局出现的尺度, 近距离的空间自相关大致反映了斑块的平均半径^[27-28]。

2 结果与分析

2.1 天山云杉林的林分径级结构

两块标准地天山云杉活立木株数按径阶分布见图 1。由图 1 可以看出,两块标准地的天山云杉活立木的径级结构分布规律不一致。标准地 I 的天山云杉活立木林木直径分布为倒“J”型,幼苗和幼树占了大多数;而标准地 II 天山云杉活立木的直径分布为“S”型,峰值在平均直径附近,两侧株数渐减,曲线下降,出现了左偏现象。标准地 I 小径木(16 cm 以下)、中径木(16—30 cm)和大径木(30 cm 以上)分别占总株数的 66%、26% 和 8%,小径木株数较多。标准地 II 的小径木、中径木和大径木分别占总株数的 44%、49% 和 7%。两块标准地的枯死木的径级分布规律也不一致。标准地 I 的小径级的枯死木为 125.8 株/hm²,标准地 II 为 28 株/hm²,其余的径级枯死木差别不大,标准地 I 的大径级天山云杉的枯死木是标准地 II 的 10 倍。

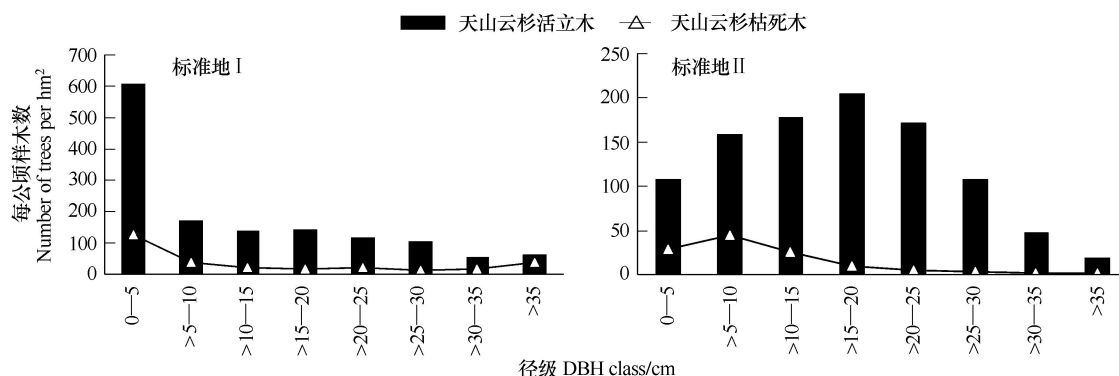


图 1 两块标准地的天山云杉活立木和枯死木的径级结构

Fig. 1 The DBH class distributions of Schrenk spruce in two plots

2.2 天山云杉林不同林层的空间格局

不同林层的天山云杉空间分布格局呈现相同的趋势,基本上都是显著聚集的。这种聚集格局的分布在两块标准地不同林层天山云杉活立木的在样地分布图中并不是很明显(图 2),但在不同林层天山云杉活立木的点格局分布图中显示出各个林层的天山云杉活立木都是显著聚集的,为聚集分布,只是发生聚集格局的强度和聚集尺度不同(图 3)。两块标准地都是更新层天山云杉具有最大的聚集强度,相比低林层、中林层和高林层的天山云杉,表现为更加聚集(图 3)。标准地 I 和标准地 II 更新层的聚集强度分别为 8 和 20,从更新层到低林层聚集强度急速降低,标准地 I 和标准地 II 低林层的聚集强度分别为 3 和 1(图 3,a,b,f,g)。对于标准地 I,更新层的聚集半径为 17 m(图 3,a);低林层的天山云杉的聚集半径为 20 m 左右(图 3,b);中林层的天山云杉的聚集半径为 35—40 m 间(图 3,c);高林层的天山云杉聚集半径为 40—45 m 间(图 3,d)。标准地 II

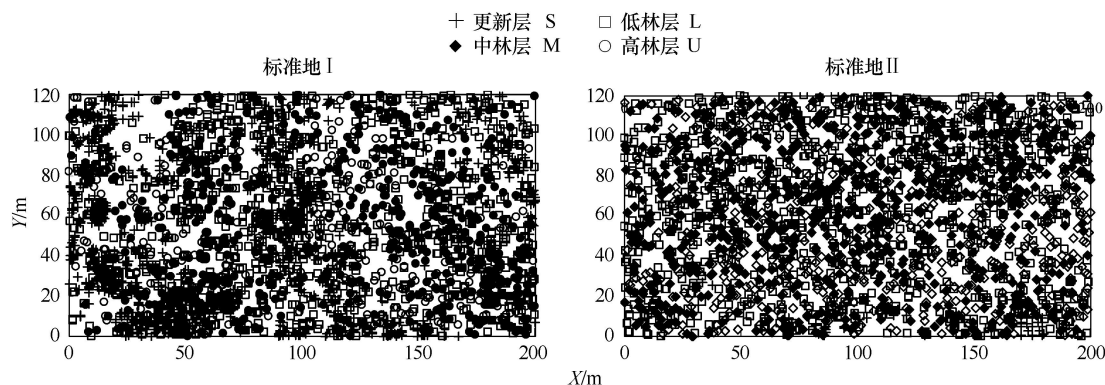


图 2 不同林层天山云杉活立木在样地中的分布

Fig. 2 The stem maps of Schrenk spruce at four height classes

不同林层的天山云杉的聚集半径亦呈现相同的趋势(图 3f—h)。由此表明随着天山云杉林层的增高,其聚集半径是增大的,聚集尺度也不相同,呈现出不同等级的聚集(图 3)。天山云杉活立木基本上在所有尺度都呈现显著聚集的格局(图 3,e,j)。

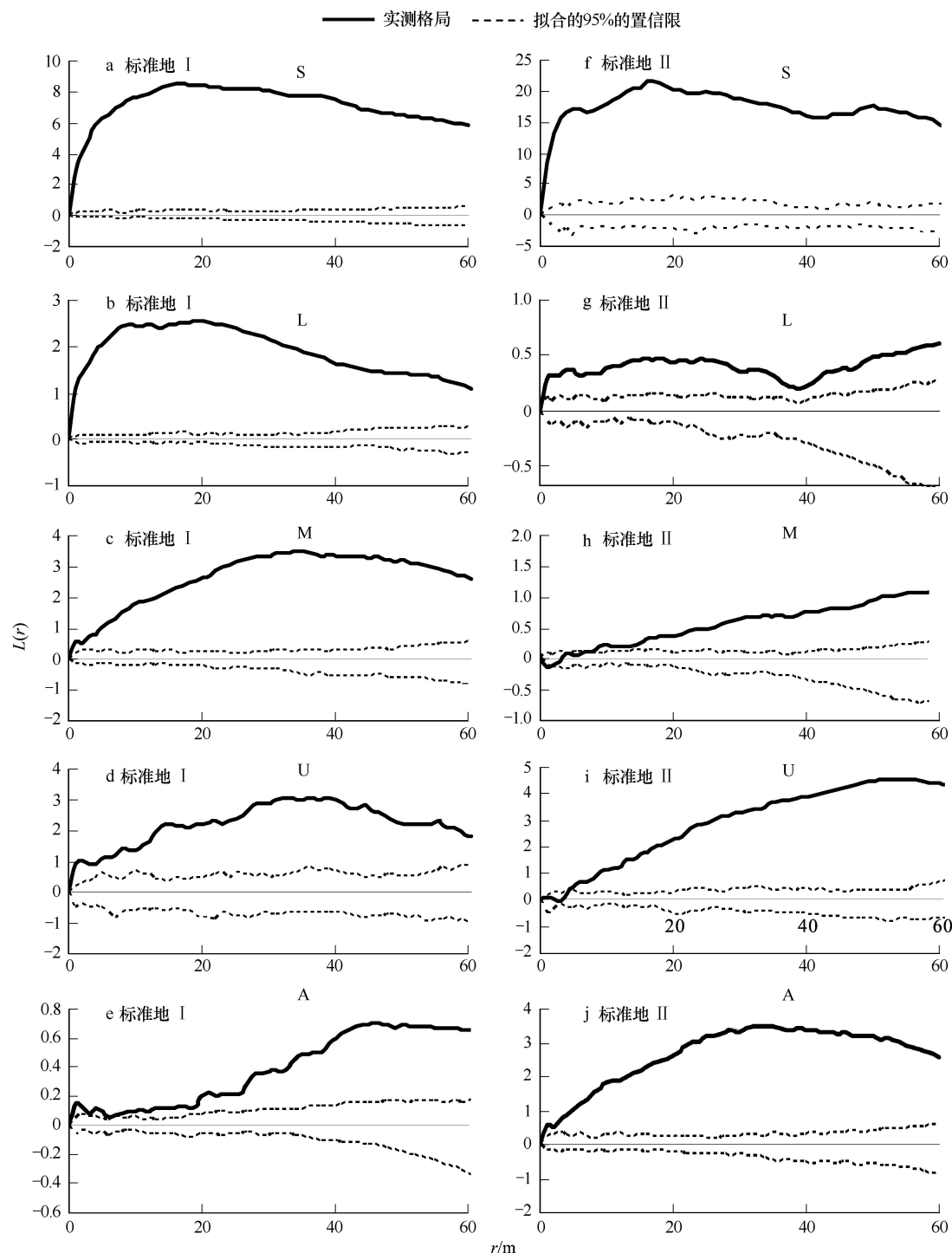


图 3 天山云杉活立木不同林层的点格局分析结果图

Fig. 3 Results of point pattern analysis for Schrenk Spruce

2.3 天山桦、天山柳同天山云杉的空间关联性

由表 1 可知,天山桦、天山柳和天山云杉活立木的空间关联性在两块标准地中的表现不一致:标准地 I 天

山桦、天山柳在所有尺度上和天山云杉活立木都表现为空间负相关,表明其抑制天山云杉活立木的生长;而标准地Ⅱ天山桦、天山柳种群在 1—10 m 尺度内与天山云杉活立木没有表现出空间关联性,表明其对天山云杉的生长没有影响;10—40 m 表现出空间正相关,40 m 以上没有表现出明显的空间关联性(表 1)。同样地,天山桦、天山柳同天山云杉更新层和低林层的关系在两块标准地上的表现也不一致:标准地Ⅰ的天山桦、天山柳在所有尺度上同天山云杉更新层和低林层的关系都表现出空间负相关,表明天山桦、天山柳在所有的尺度都抑制天山云杉的更新;而标准地Ⅱ的天山桦、天山柳只在 40m 以下同天山云杉更新层和低林层表现出空间正相关,这表明天山桦、天山柳在小尺度对于更新层和低林层天山云杉的生长有促进作用(表 1)。天山桦、天山柳和天山云杉中林层、高林层活立木的空间关联性,在两块标准地中的表现是一致的,几乎在所有尺度都没有表现出空间关联性(表 1),表明天山桦、天山柳对于中林层和高林层的天山云杉活立木的生长没有影响。天山桦、天山柳同天山云杉枯死木的关系在两块标准地中的表现没有差别,表现为:20 m 以下几乎没有空间关联性,20 m 以上,它们的空间关联性表现为负相关(表 1)。

2.4 天山云杉更新层同天山云杉枯死木和其他林层的空间关联性

天山云杉更新层和枯死木的空间关联性在两块标准地内的表现是一致的:在小于 30 m 的尺度内,天山云杉枯死木和更新层的空间关联性表现为正相关,表明枯死木在 30 m 内促进更新层的生长;当尺度大于 30 m 时,天山云杉枯死木和更新层的空间关联性为不相关,表明枯死木在大于 30 m 后不影响天山云杉林的更新(表 1)。

天山云杉低林层同更新层的空间关联性在标准地Ⅰ和标准地Ⅱ内是一致的:27 m 以下呈现正的空间关联性,27 m 以上无相互影响(表 1)。中林层与更新层的空间关联性在标准地Ⅰ和标准地Ⅱ内都表现为空间负相关(表 1),表明几乎在所有尺度内中林层都抑制更新层的生长。高林层同更新层的空间关联性在所有尺度上在标准地Ⅰ和标准地Ⅱ均呈现出负的空间关联性,表明高林层抑制天山云杉林的更新。

表 1 天山云杉不同树高级关系的 Ripley's K_{12} 系数法分析结果

Table 1 Results of Ripley's K_{12} analysis for different strata of Schrenk spruce

标准地 Spot	树高级 Height class	尺度 scale/m											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10—30	30—60
标准地Ⅰ Plot I	O-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	O-S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	O-L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	O-M	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	O-U	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	D-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	·(-)
	U-S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
标准地Ⅱ Plot II	O-A	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	+	r(+)
	O-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	r(+)
	O-L	·	·	·	·	·	·	·	+	+	+	+	r(+)
	O-M	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	O-U	·	·	·	-	-	-	-	-	-	-	-	-(·)
	D-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	r(+)
	U-S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

“+”表示正相关;“-”表示负相关;“·”表示无相关关系;“(+)”表示均匀格局多于随机格局;“(·)”表示均匀格局多于随机格局

2.5 不同林层的林木高度的空间自相关

Moran's I 系数分析表明,天山云杉林木高度的空间自相关图在两块标准地的一般变化趋势是一致的:距离较近的点之间呈显著的空间自相关;随着距离增大,自相关指标逐渐向负方向变化,达到显著的负空间自相关;然后,自相关指标再次增至正值,最后又向负方向变化(图 4)。这说明天山云杉林木高度在空间上存在显

著的梯度变化格局。

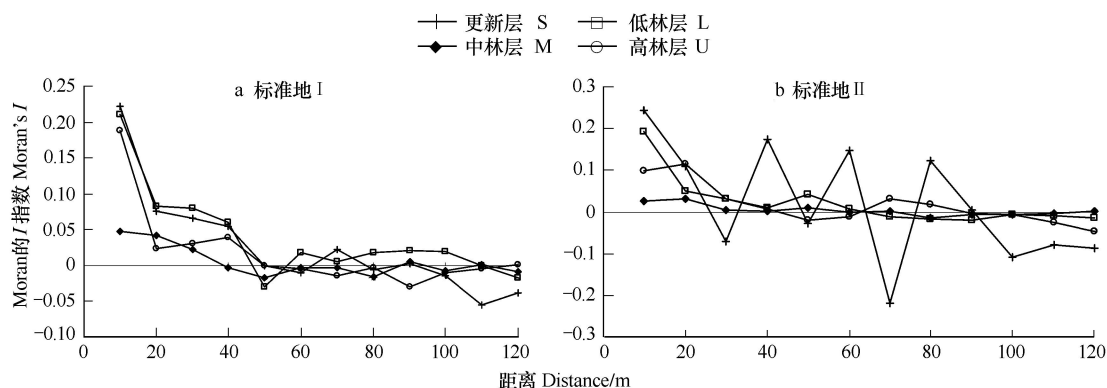


图4 两块标准地天山云杉活立木各林层的空间自相关系数

Fig. 4 Spatial correlograms (Moran's I) of Schrenk spruce at four height classes

天山云杉更新层树高的空间自相关性指标最大,且有明显的变幅;接下来依次是低林层、高林层和中林层(图4a,b)。表明更新层相邻林木空间自相关性最强。标准地Ⅱ的更新层有明显的3个峰值,而标准地Ⅰ则没有这样的峰值。两块标准地更新层的斑块半径差别很大,标准地Ⅰ更新层的斑块半径为50 m,即标准地Ⅰ更新层的空间距离超过50 m时,空间点上林木高度变化呈负空间自相关;而标准地Ⅱ更新层的斑块半径为20 m,即标准地Ⅱ更新层的空间距离20 m时,空间点上林木高度变化呈负空间自相关。在两块标准地内聚集斑块的半径都随林层的增高而增加(图4)。空间自相关图的变化趋势说明中林层和高林层的天山云杉活立木的结构比较简单,聚集斑块的半径大,聚集斑块的数量少,其分布越来越整齐。

3 结论与讨论

在种群发育过程中,种群分布格局不是一成不变的,而是随时间表现出动态变化过程^[3,5,29]。本研究调查的两块标准地分别代表天山云杉的两个不同演替阶段:标准地Ⅰ是天山云杉增长型种群,标准地Ⅱ是天山云杉成熟型种群(图1)。在天然林中,聚集格局是一种非常典型的格局类型^[30]。本研究中天山云杉活立木各林层基本上都是聚集格局,这可能与种群繁殖特征和环境异质性有关,是天山云杉种群对环境长期适应和选择的结果。天山云杉种群在更新层表现为强聚集分布,这是天山云杉的繁殖特性所导致的。天山云杉的球果含大量种子且种子较重,扩散能力有限,在坡度较平缓的地方大多数种子散落在母树的周围;在坡度较大的地方,球果下落时常随地势向下滚动,使得大量种子在母树下方的坡面上不断积累,也有可能是由于动物对种子的取食和散播。有些动物以天山云杉种子为食物,这些动物的生活行为对于天山云杉种子的萌发和生长造成了一定影响,如食物的储存、粪便的排泄,导致更新层聚集生长。同时更新层的强聚集分布有利于存活和发展群体效应。本研究中,从更新层到低林层的聚集强度急剧下降(图3),聚集斑块的半径减小(图4),由此可以推断出天山云杉是 K -选择树种,只有少数比较强健的天山云杉幼苗和幼树能够存活。聚集强度随着林层高度而降低,其原因是云杉种群随着树木个体生长,自疏作用和它疏作用不断加强,导致大量林木死亡,聚集强度逐渐减弱,而到成年时,聚集强度降低则有利于获得足够的环境资源,保证天山云杉种群整体的相对稳定和优势地位。许多研究结果^[9,29,1]解释了在高林层的林木呈现随机格局和均匀格局是由于强烈的种间或种内竞争而产生的,而本研究中高林层天山云杉几乎在所有尺度上呈现聚集格局,与天山云杉枯死木的格局基本一致^[17],其原因可能是由于高林层天山云杉通过风倒制造林冠干扰,形成林窗,为更新创造条件。

天山云杉种群不论是更新层还是高林层都表现为聚集型分布格局,但是各阶段的聚集程度不同(图3)。幼苗阶段为强聚集分布,从幼苗到大树过程中聚集强度逐渐降低。这些结果有助于指导天山云杉林的营造,即可以对天山云杉的下层林木进行合理的经营择伐,这样可以改善林木生长的环境条件,增大林木的个体营养面积,促进天山云杉的更新。

本研究中在天山云杉的不同演替阶段,先锋树种天山桦、天山柳和天山云杉的空间关联性表现不同。在增长型种群中,天山桦、天山柳在所有尺度上都抑制天山云杉的更新;在成熟型种群中,天山桦、天山柳在10—40 m尺度内促进天山云杉更新层的生长(表1)。其原因是:在天山云杉林的演替过程中,由天山桦、天山柳先进占林地,天山云杉同时或逐年在阔叶林冠下定居。而在演替早期,天山桦、天山柳同天山云杉更新层争夺光照。天山云杉高林层和中林层抑制天山云杉更新,由此推断出天山云杉一旦郁闭成林后,林冠下不能更新。天山云杉低林层和更新层在小尺度上呈现空间正相关关系,表明更新层和低林层都聚集在光照条件充足的地方(即林窗内)。枯死木在小尺度上促进天山云杉更新(表1),根据促进尺度,可以通过采伐人为制造直径为30 m左右的林窗以促进天山云杉的更新。高林层和更新层在所有尺度上都相互抑制,在很多研究中都有这样的结果^[30-32]。这是由于上层林木与下层林木是同一树种,下层林木生长所必须的特定的光质,大部或全部被上层林木的树叶吸收,不但造成林下更新不良,而且妨碍下层林木的生长。由更新层和高林层及更新层和天山云杉枯死木的关系可以推断,天山云杉林的更新不是浪潮式的间断更新,即不是在林冠下形成下一代天山云杉林,而多是火烧或成片风倒后一次成林。这也充分说明,天山云杉幼苗难以适应天山云杉林冠下的条件,这是耐荫树种天山云杉在天山林区表现出的特有现象。这与前人的研究结果一致:天山云杉幼苗期需要适度的庇荫才能存活,郁闭度大的天山云杉纯林林冠下更新较差或无法更新,随幼苗的不断生长,对于光照的需求也逐渐增强,在林窗、天山云杉疏林地和部分林缘地带常形成天然更新较好的幼树林^[16]。

更新层的空间自相关性最强,这与天山云杉更新层的聚集强度最大相吻合。成熟型种群的3个明显的峰值表明有3次明显的更新过程(图4)。

很少有研究关注枯死木在森林中所起的作用。然而 Franklin 和 Spiering 指出应该更多地关注枯死木的重要作用 and 它们在森林中的主要功能^[31-32]。本研究表明天山云杉枯死木和活立木基本上在所有尺度上都为空间正相关,表明林木更新是树木死亡后的结果。天山云杉更新层和枯死木的关系更加证实了这一点。天山云杉林的演替过程之一为:天山云杉林内过熟林木不断枯死倒落,形成大小不一的空地,这种新老更替的方式在现在的天山林区是很普遍的一种更新方式。对天山云杉林进行抚育更新时,应该充分了解枯死木在天山云杉林中的作用,在不损伤生态环境的前提下,进行小面积皆伐,实行人工更新。

References:

- [1] Hao Z Q, Zhang J, Song B, Ye J, Li B H. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, 252(1/3): 1-11.
- [2] Song B, Chen J Q, Desanker P V, Reed D D, Bradshaw G A, Franklin J F. Modeling canopy structure and heterogeneity across scales: from crowns to canopy. *Forest Ecology and Management*, 1997, 96(3): 217-229.
- [3] Chen J Q, Bradshaw G A. Forest structure in space: a case study of an old growth spruce-fir forest in Changbaishan Natural Reserve, PR China. *Forest Ecology and Management*, 1999, 120: 219-233.
- [4] Fonseca M G, Martini A M Z, Santos F A M. Spatial structure of *Aspidosperma polyneuron* in two semi-deciduous forests in southeast Brazil. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 15(1): 41-48.
- [5] Schurr F M, Bossdorf O, Milton S J, Schumacher J. Spatial pattern formation in semi-arid shrubland: a priori predicted versus observed pattern characteristics. *Plant Ecology*, 2004, 173(2): 271-282.
- [6] Koukoulas S, Blackburn G A. Spatial relationships between tree species and gap characteristics in broad-leaved deciduous woodland. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16(5): 587-596.
- [7] King D A, Wright S J, Connell J H. The contribution of interspecific variation in maximum tree height to tropical and temperate diversity. *Journal of Tropical Ecology*, 2006, 22(1): 11-24.
- [8] Spies T A. Forest structure: a key to the ecosystem. *Northwest Science*, 1998, 72(suppl. 2): 34-39.
- [9] Salas C, LeMay V, Núñez P, Pacheco P, Espinosa A. Spatial patterns in an old-growth *Nothofagus obliqua* forest in south-central Chile. *Forest Ecology and Management*, 2006, 231(1/3): 38-46.
- [10] He F, Legendre P. Distribution patterns of tree species in a Malaysian Tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science*, 1997, 8(1): 105-114.
- [11] Manabe T, Nishimura N, Miura M. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in

- Japan. *Plant Ecology*, 2000, 151(2): 181-197.
- [12] Druckenbrod D L, Shugart H H, Davis I. Spatial pattern and process in forest stands within the Virginia piedmont. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16 (1): 37-48.
- [13] Condit R, Ashton P S, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell S P, Foster R B, Itoh A, LaFrankie J V, Lee H S, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, 288: 1414-1418.
- [14] Nakashizuka T. Species coexistence in temperate, mixed deciduous forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, 16 (4): 205-210.
- [15] Druckenbrod D L, Shugart H H, Davies I. Spatial pattern and process in forest stands with in the Virginia piedmont. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16 (1): 37-48.
- [16] Editorial Committee of Forests of Xinjiang. *Forests of Xinjiang*. Beijing, Xinjiang: China Forestry Press, Xinjiang Press, 1989: 710-715.
- [17] Li M H, He F H, Liu Y, Pan C D. Spatial distribution pattern of tree individuals in the Schrenk spruce forest, north China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1000-1006.
- [18] Ripley B D. *Spatial Statistics*. New York: Wiley, 1981: 252-253.
- [19] Ripley B C. Modeling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society (Series B)*, 1977, 39: 172-212.
- [20] Dale M R T. *Spatial Patterns Analysis in Plant Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [21] Perelman S B R, Leon J C, Oesterheld M. Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *Journal of Ecology*, 2001, 89(4): 562-577.
- [22] Rebertus A J, Williamson G B, Moser E B. Fire induced changes in *Quercus laevis* spatial pattern in Florida sandhills. *Journal of Ecology*, 1989, 77(3): 638-650.
- [23] Hou X Y, Han J X. Simulation analysis of spatial patterns of main species in the Korean-Pine broad leaved Forest in Changbai Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(3): 242-249.
- [24] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4): 344-349.
- [25] Qi Y, Wu J G. Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices. *Landscape Ecology*, 1996, 11(1): 39-49.
- [26] Wu J G. *Landscape Ecology, Pattern, Process, Scale and Hierachy*. Beijing: Higher Education Press, 2001: 121-123.
- [27] Legendre P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm. *Ecology*, 1993, 74, 1659-1673.
- [28] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 1989, 80, 107-138.
- [29] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos*, 2004, 104, 209-229.
- [30] North M, Chen J Q, Oakley B, Song B, Rundnicki M, Gray A, Innes J. Forest stand structure and pattern of old-growth western hemlock/Douglas-fir and mixed-conifer forests. *Forest Science*, 2004, 50(3): 299-311.
- [31] Franklin J F, Shugart H H, Harmon M E. Tree death as an ecological process. *BioScience*, 1987, 37(8): 550-556.
- [32] Franklin J F, Spies T A, Van Pelt R, Carey A B, Thornburgh D A, Berg D R, Lindenmayer D B, Harmon M E, Keeton W S, Shaw D C, Bible K, Chen J Q. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management*, 2002, 155(1/3): 399-423.

参考文献:

- [16] 新疆森林编辑委员会. 新疆森林. 北京, 新疆: 中国林业出版社, 新疆出版社, 1989: 710-715.
- [17] 李明辉, 何风华, 刘云, 潘存德. 天山云杉种群空间格局与动态. *生态学报*, 2005, 25(5): 1000-1006.
- [23] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. *植物生态学报*, 1998, 22(4): 344-349.
- [24] 侯向阳, 韩进轩. 长白山红松林主要树种空间格局的模拟分析. *植物生态学报*, 1997, 21(3): 242-249.
- [26] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社, 2001: 121-123.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响力因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响力因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响力因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		

